نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۴۳۶-۱۴۲۳

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1423-1436

بررسی اثر باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفر و پتاسیم بر شاخص‌های رشدی دو توده ماش (*Vigna radiata* L.)

افسانه یوسفی[۱]، رضا میرزایی تالار پشتی[۲]، جعفر نباتی[۳]* و سعید صوفی‌زاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵

یوسفی، ا.، میرزایی تالار پشتی، ر.، نباتی، ج. و صوفی‌زاده، س. ۱۳۹۸. بررسی اثر باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفر و پتاسیم بر شاخص‌های رشدی دو توده ماش (*Vigna radiata* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱ (۴): ۱۴۳۶-۱۴۲۳.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفر، پتاسیم و تثبیت‌کننده آزادزی نیتروژن بر شاخص‌های رشدی ماش (*Vigna radiata* L.)، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با دو توده ماش (دزفولی و هندی)، شش تیمار کودی شامل: ۱- باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، ۲- باکتری‌های حل‌کننده فسفر، ۳- باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، ۴- باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن + باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و فسفر، ۵- کود شیمیایی نیتروژن و ۶- شاهد (بدون کود زیستی و شیمیایی) در سه تکرار اجرا شد. مقدار واحد کلونی ریزموجود در هر گرم کود زیستی 10^7 واحد بود. صفات مورد مطالعه شامل شاخص سطح برگ، ماده خشک تجمعی، سرعت رشد محصول، سرعت آسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد نسبی و عملکرد دانه بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۳/۸۰)، تجمع ماده خشک (۸۳۵ گرم بر مترمربع) و عملکرد دانه (۱۵۵۸ کیلوگرم در هکتار) ماش در توده هندی به‌دست آمد و توده دزفولی بیش‌ترین سرعت رشد محصول (۲۵ گرم در مترمربع در روز)، سرعت رشد نسبی (۰/۰۵۶ گرم در مترمربع در روز) و سرعت آسیمیلاسیون خالص (۱۸/۹۵ گرم دی‌اکسیدکربن در مترمربع در روز) را نشان داد. کم‌ترین شاخص‌های رشد در شاهد در هر دو توده دزفولی و هندی به‌دست آمد. بر این اساس می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی در بهبود شرایط رشدی گیاه اثر قابل توجهی داشته است و از طریق افزایش رشد و توسعه ریشه و در نتیجه جذب بهتر آب و مواد غذایی از خاک توانسته است، سبب افزایش عملکرد و بهبود صفات کمّی گیاه گردد.

واژه‌های کلیدی: سرعت آسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، کودهای زیستی

مقدمه

امروزه تغذیه گیاهان زراعی بر مبنای تغذیه پایدار خاک و سلامت آن، یکی از عملیات کشاورزی موردنیاز برای دستیابی به اهداف بوم‌نظام‌های کشاورزی پایدار محسوب می‌شود، بر این اساس یکی از مراحل گذر از کشاورزی رایج به کشاورزی پایدار، جانشینی نهاده‌ها با عملیات قابل‌جایگزینی است که اثرات نامطلوب کم‌تری بر محیط‌زیست دارند.

افزایش قیمت کودهای شیمیایی از یک‌سو و مسائل محیط‌زیستی مرتبط با مصرف غیراصولی این کودها از قبیل ایجاد آلودگی منابع آب و خاک، افت سطح حاصلخیزی خاک و کاهش ارزش فرآورده های گیاهی از سوی دیگر و مسئله توجه به تأمین غذای باکیفیت برای جمعیت روزافزون جهان نیاز به تجدید نظر در روش‌های افزایش تولید محصولات زراعی را ضروری ساخته است. کودهای زیستی از طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد، موجب افزایش جوانه‌زنی بذر، ریشه‌زایی و گسترش ریشه می‌شوند و رشد کل گیاه را از طریق

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، استادیار گروه پژوهشی بقولات، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.77747

تقسیم سلولی، افزایش نفوذپذیری غشاء سلول‌های گیاه و در نتیجه افزایش مواد غذایی فراهم می‌کنند، بنابراین استفاده آن‌ها به‌عنوان کودهای زیستی برای بهبود کشاورزی، نکته تمرکز بسیاری از مطالعات اخیر بوده است (Hasanabadi et al., 2016). برای کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی و صدمات اکولوژیکی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی باید از منابع و نهاده‌هایی استفاده کرد که علاوه‌بر تأمین نیازهای فعلی گیاه به پایداری سیستم‌های کشاورزی در بلندمدت نیز منجر شود (Osouli & Taleshi, 2017).

اصطلاح PGPR[1] برای برخی از باکتری‌های ریزوسفری که تأثیر مشخصی در افزایش رشد گیاه نشان داده‌اند (*آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر،* باکتری‌های پتاسیمی، *فسفوباکتری‌ها، سودوموناس، آگروباکتریوم، ریزوبیوم وکلبسیلا*) نیز به‌کار می‌رود، باکتری‌های آزادزی ریزوسفر به دو روش مستقیم و غیرمستقیم باعث بهبود رشد و سلامت گیاه می‌شوند، در روش غیرمستقیم باکتری‌های محرک رشد با استفاده از مکانیسم‌های خاصی اثرات مضر بیمارگرهای گیاهی را تعدیل نموده و به این طریق موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند. امّا در روش مستقیم این باکتری‌ها با تثبیت آزادزی نیتروژن، تولید متابولیت‌های مؤثر در رشد گیاه مانند هورمون‌های گیاهی، افزایش حلالیت ترکیب‌های نامحلول مثل فسفر و پتاسیم از طریق تولید اسیدهای معدنی و آلی، تولید سیدروفورها و افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف به‌ویژه آهن و کاهش اثرات سوء اتیلن تنشی، تولید آنزیم *ACC دی‌آمیناز* به رشد بهتر گیاه کمک می‌کنند (Shaharoona et al., 2006). باکتری‌های جنس *ازتوباکتر وآزوسپریلوم* از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند که علاوه‌بر تثبیت زیستی نیتروژن، با تولید مقادیر قابل ملاحظه هورمون‌های تحریک‌کننده رشد، به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکینین رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. باکتری *آزوسپریلوم* که قابلیت هم‌زیستی با ریشه را دارند، ضمن تثبیت زیستی نیتروژن در بسیاری از گیاهان باعث افزایش تقسیم سلولی در ریشه، تغییر مورفولوژی ریشه و افزایش تارهای کشنده می‌گردد (Kennedy et al., 2004).

ماش سبز با نام علمی (*Vigna radaita* L.)، یکی از حبوبات باارزش و سرشار از فسفر است. دانه ماش حاوی ۲۵ درصد پروتئین، ۰/۶ درصد چربی، ۰/۹ درصد فیبر و ۳/۷ درصد خاکستر است (Abbas et al., 2011). جوانه‌های سبز شده ماش سرشار از ویتامین ث، مقدار زیادی ریبوفلاوین و تیامین است. ماش به‌عنوان یکی از ارزان‌ترین و مقرون به‌صرفه‌ترین منابع پروتئین باکیفیت برای انسان است (Choudhary et al., 2017). این گیاه بومی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری بوده و به‌دلیل هم‌زیستی با باکتری ریزوبیوم قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن به‌میزان ۱۰۰-۵۰ کیلوگرم در هکتار دارد (Majnoonhosseini, 2007). گیاه ماش علی‌رغم توانایی تثبیت زیستی نیتروژن به‌دلیل داشتن ریشه‌های ضعیف عملکرد پایینی دارد هم‌چنین تلقیح ماش با *ریزوبیوم*، عملکرد ماش را از ۷۶۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار بدون تلقیح به ۸۱۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار تلقیح شده افزایش داده است، هم چنین تلقیح سبب افزایش ارتفاع گیاه ماش، سطح برگ، سرعت فتوسنتز، ماده خشک و افزایش تعداد گره گردید (Igbal et al., 2016). محققان بیان کردند افزایش سرعت رشد گندم (*Triticum aestivum* L.) در اثر تلقیح نیتروکسین (*ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم*) را بیش از اثر تثبیت زیستی نیتروژن، به هورمون‌های تولید شده توسط این باکتری نسبت دادند (Zayed et al., 2005). نتایج بررسی بر ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) نشان داد، تیمار استفاده از کود تلفیقی زیستی توانست سطح برگ بیش‌تری را تولید کند، که افزایش در شاخص سطح برگ سبب افزایش در سرعت رشد محصول و سرعت آسیمیلاسیون خالص گردید (Kamaei et al., 2017). در بررسی تأثیر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد در پاسخ به کود زیستی فسفر در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، نتایج حاکی از آن بود که تجمع ماده خشک تحت تاثیر تیمارهای کود زیستی فسفر قرار گرفت، به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن خشک کل، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی گیاه، سرعت جذب خالص گیاه در این تیمار مشاهده شد (Nazeri et al., 2012). کاربرد کودهای زیستی در نخود (*Cicer arietinum* L.) در مقایسه با شاهد، منجر به افزایش قابل توجه شاخص‌های رشد از جمله حداکثر شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، ماده خشک کل و عملکرد دانه به‌ترتیب به‌میزان ۲۷/۴۴، ۱۳/۸۲، ۸/۱۵ و ۲۹/۴۶ درصد گردید (Aboutalebian & Elahi, 2016).

کاربرد باکتری های آزادکننده فسفر منجر به افزایش جوانه زنی بذر، افزایش طول ریشه، ساقه و تعداد برگ ماش گردید که نشان

1- Plant growth-promoting rhizobacteria

می‌دهد استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفر دارای ویژگی‌های سودمند چندمنظوره برای بهبود شرایط رشد گیاه زراعی است (Prajapati, 2016). نتایج نشان داده که بذر مال کردن بذور با باکتری های حل‌کننده فسفر همراه با گوگرد سبب افزایش ارتفاع، تعداد دانه و عملکرد گیاه ماش شده است (Runy & Prakash, 2017). در تحقیقی دیگر محققان نشان داده‌اند که استفاده از کودهای زیستی سبب بهبود جذب نیتروژن و فسفر و افزایش درصد جوانه‌زنی، ارتفاع، تعداد گره و ماده خشک در لوبیا می‌شود (De souza et al., 2016). هم‌چنین استفاده از کود زیستی روی لوبیا سبب شد که باکتری‌های موجود در کودهای زیستی با قابل دسترس نمودن و افزایش جذب عناصر غذایی، باعث توسعه رشد رویشی، گسترش و دوام بیش‌تر سطح برگ شده و در نتیجه در اثر بالا رفتن میزان فتوسنتز و اختصاص بیش‌تر مواد فتوسنتزی به دانه یا افزایش طول پر شدن دانه، وزن دانه تحت تأثیر کودهای زیستی افزایش می‌یابد (Navid et al., 2015). تلقیح بذر با باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم سبب افزایش گره‌زایی ریشه‌ها در مرحله گل‌دهی، شاخص سطح برگ، مقدار کلروفیل و عملکرد دانه می‌شود. نتیجه مطالعات نشان داده که کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن اثرات سودمندی بر توسعه و رشد ریشه داشته و هم‌چنین سبب بهبود کیفیت و افزایش محصول شد (Choudhary et al., 2017). با این حال، تلقیح با کودهای زیستی برای افزایش تولید گیاهان زراعی و به‌تبع حبوبات، تأمین امنیت غذایی و حفظ حاصلخیزی خاک یکی از راه‌حل‌های اساسی جهت افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول و پایداری در تولید به نظر می‌رسد (Khosravi et al., 2016). هدف از این پژوهش بررسی اثر کودهای زیستی شامل تیمارهای (شامل باکتری‌های آزادزی نیتروژن و حل‌کننده فسفر و پتاسیم) بر شاخص‌های رشدی دو توده ماش بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد، با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۹۹ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با دو توده ماش و سه تکرار به اجرا درآمد، ارقام ماش شامل: دزفولی و هندی و کاربرد کودهای زیستی شامل: باکتری‌های بومی آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن[1] (نیتروباکتر دایان)، باکتری‌های بومی حل‌کننده فسفر[2] (فسفوپاورباکتر دایان)، باکتری‌های بومی حل‌کننده پتاسیم[3] (پتاپاورباکتر دایان)، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن + باکتری‌های حل‌کننده فسفر + باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، کود شیمیایی نیتروژن (با منشأ اوره ۴۶ درصد) و شاهد (بدون کودهای زیستی و کود شیمیایی). باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن مجموعه‌ای از سویه‌های *Azospirillum* sp.، *Azotobacter* sp.، *Bacillus* sp.، باکتری‌های حل فسفر مجموعه‌ای از سویه‌های *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp. و باکتری‌های تجزیه‌کننده پتاسیم مجموعه‌ای از سویه‌های *Thiobacillus* sp. بودند که بومی ایران بوده و از به شرکت خوشه‌پروران زیست‌فناور تهیه شدند. ارقام ماش دزفولی از شرکت پاکان بذر اصفهان و توده هندی از مؤسسه تحقیقات بذر اهواز تهیه شد. هر دو توده متناسب با شرایط گرم و خشک بودند و نیاز آبی پایینی داشتند که این خصوصیات سازگار با شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد کشت بود. وزن هزار دانه توده هندی ۷۵/۷۳ گرم در مترمربع و توده دزفولی ۶۳ /۲۷ گرم در مترمربع بود (Abrosh, 2000; Sayadat, 2016). قبل از کاشت، عملیات آماده‌سازی زمین و خاک‌ورزی انجام شد. هم‌چنین قبل از کاشت از عمق ۰- ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه خاک تهیه شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

تاریخ کاشت اردیبهشت ۱۳۹۶ بود، هر کرت شامل شش ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود و فاصله کرت‌ها و بلوک از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع کشت شد (Soleimani et al., 2017). طبق استانداردهای موجود مقدار واحد کلونی ریزموجود در هر گرم کود زیستی 10^7 واحد بود. تلقیح بذور در روز کاشت در زیر سایه و مکانی خشک و خنک انجام شد. ابتدا بذرها در ظرفی خشک قرار داده شدند و سپس مایع کود زیستی سطح بذرها کاملاً پوشانده شد. بذرهای موجود در هر ظرف تا رسیدن رطوبت موجود در ظرف‌ها به‌مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه نگهداری و سپس به کرت‌های اختصاصی انتقال یافت و بلافاصله کشت شدند.

1- Free-living nitrogen-fixing
2- Phosphate solubilizing bacteria
3- Potassium solubilizing bacteria

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (۳۰-۰) سانتی‌متری

Table 1- Physical and chemical properties of the soil (0-30 cm)

کربن آلی Organic carbon (٪)	نیتروژن کل Total Nitrogen (٪)	فسفر قابل دسترس Phosphorus availble ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Potassium available ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته Aacidity (pH)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	بافت Texture
0.61	0.063	20	119	7.41	2.88	لوم Loam

طی سه مرحله از تیمارهای باکتریایی استفاده شد (در زمان کاشت به‌صورت بذرمال کردن بذور، همراه با دومین آبیاری و قبل از مرحله گل‌دهی). تیمار کود شیمیایی نیتروژن قبل از کاشت به‌صورت نواری به‌کار برده شدند. مقدار مصرف کود نیتروژن ۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار دقیق مصرف کود نیتروژن در کرت‌های مربوطه محاسبه و طی دو مرحله به‌صورت نواری (هنگام کاشت) و به‌صورت سرک (قبل از مرحله گل‌دهی) اعمال شدند. در این آزمایش آبیاری به‌روش جوی و پشته‌ای انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت، آبیاری دوم پنج روز پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به‌صورت هفتگی (بر مبنای نیاز گیاهی و تخلیه رطوبت خاک مزرعه) تا پایان فصل رشد انجام شد. عملیات تنک در مرحله دو تا چهاربرگی انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز در طی فصل رشد سه بار به‌صورت دستی صورت گرفت. به‌منظور تعیین شاخص‌های رشدی گیاه، نمونه‌برداری به‌صورت تخریبی، هر ۱۵ روز یک بار به‌صورت تصادفی و با حذف اثرات حاشیه‌ای از نیم مترمربع انجام شد. برای تعیین شاخص سطح برگ و وزن خشک، از ۲۰ روز پس از کاشت و آخرین نمونه‌برداری ۹۰ روز پس از کاشت صورت گرفت. سطح برگ با دستگاه Leaf Area Mater (مدل Delta-T، کشور انگلستان) جهت تعیین شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شدند، سپس نمونه‌ها جهت تعیین وزن خشک درون پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه خشک شده و اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت یک‌هزارم انجام و داده‌های حاصل برای محاسبه شاخص‌های رشدی استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور تعیین عملکرد در تاریخ ۲۰ شهریور ماه، پس از رسیدگی فیزیولوژیک (سفت شدن دانه‌های ماش و تغییر رنگ یافتن غلاف‌های سبز به غلاف‌های زرد یا سیاه) برداشت از چهار ردیف میانی با حذف اثر حاشیه‌ای، از سطح یک مترمربع انجام شد.

معادله سه پارامتری گاوس (معادله ۱) به داده‌های شاخص سطح برگ (LAI) برازش گردید و سطح برگ گیاه در طول دوره رشد برآورد شد (Steinmaus & Norris, 2002).

$$x(t) = a \times \exp\left(-0\cdot 5 \times \left(\frac{x-x0}{b}\right)^2\right) \quad \text{(۱) معادله}$$

در این معادله، t: زمان برحسب روز، x(t): شاخص سطح برگ برآورد شده، a: حداکثر شاخص سطح برگ در طول دوره رشد، b: زمانی است که پس از این دوره شاخص سطح برگ به‌طور نمایی افزایش می‌یابد و x_0: زمانی است که گیاه حداکثر شاخص سطح برگ را دارد.

معادله سیگموئیدی (معادله ۲) به داده‌های وزن خشک تجمعی برازش گردید و با مشتق‌گیری از معادله ذکر شده معادله سرعت رشد محصول CGR (معادله ۳) به‌دست آمده و پارامتر مذکور در تیمارهای مختلف برآورد گردید (Steinmaus & Norris, 2002; Ngouajio et al., 2001).

$$TDM = a/(1+\exp\left(-\frac{(x-x0)}{b}\right)) \quad \text{(۲) معادله}$$

$$CGR = \frac{TDM}{b\left(1-\frac{TDM}{a}\right)} \quad \text{(۳) معادله}$$

در این معادله‌ها، TDM: تجمع ماده خشک در زمان، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: شیب افزایش ماده خشک x_0: زمانی است که گیاه بیش‌ترین افزایش ماده خشک را دارد و CGR: سرعت رشد گیاه می‌باشد. بهترین معادله برای ارزیابی تغییرات ماده خشک در واحد زمان معادله درجه دوم (معادله ۴) تعیین گردید، که با مشتق‌گیری از آن، معادله RGR (معادله ۵) به‌دست آمد (Zaefarian et al., 2009; Ozoni Davaji, 2008).

$$TDM = \exp(ax2 + bx + c) \quad \text{(۴) معادله}$$

$$RGR = 2ax + b \quad \text{(۵) معادله}$$

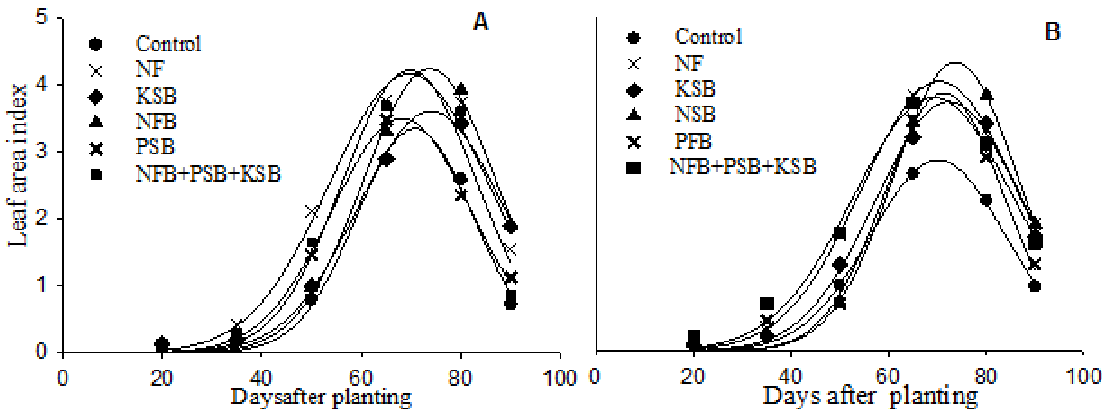
با معلوم بودن مقادیر CGR و LAI سرعت فتوسنتز خالص NAR ($g.\ m^{-2}{}_{leaf}.\ day^{-1}$) محاسبه شد (معادله ۶).

معادله (۶) $NAR = \frac{CGR}{LAI}$

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و برازش روابط مورد نظر و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار SAS 9.2 و Sigmaplot 11.0 استفاده شد. برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: اثر سطوح مختلف کودهای زیستی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ ماش در طول فصل رشد در شکل ۱ نشان داده شده است. شاخص سطح برگ در کلیه تیمارها در ابتدای فصل، رشد کند و تدریجی داشت و با تولید برگ‌های بیش‌تر توسط گیاه روند افزایشی داشت، حدود ۶۵ روز پس از کاشت این روند ادامه داشت و پس از رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ کلیه تیمارها سیر نزولی پیدا کردند. در طول دوره رشد گیاه ماش، شاهد در هر دو توده دزفولی و هندی کم‌ترین شاخص سطح برگ را داشت. حداکثر شاخص سطح برگ در نقطه اوج روند تغییر سطح برگ، مربوط به تیمارهای کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی در ماش دزفولی و هندی به‌ترتیب ۲۷ و ۳۸ درصد بیش‌تر نسبت به شاهد بود. با توجه به این مقادیر می‌توان نتیجه گرفت کاربرد هم‌زمان باکتری‌های زیستی (باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن + حل‌کننده فسفر و پتاسیم) سبب افزایش شاخص سطح برگ بیش‌تر در گیاه و فراهمی عناصر غذایی بیش‌تر در گیاه می‌شود، که افزایش در شاخص سطح برگ سبب افزایش در فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد ماده خشک و دانه نیز خواهد شد. نتایج تحقیقات روی ذرت بیانگر آن بود که تلقیح بذور ذرت علوفه‌ای با *آزوسپیریلوم*، سبب افزایش تعداد برگ در بوته گردید که دلیل این امر را وجود روابط مثبت بین گیاه و باکتری دانستند که سبب تأمین بهتر عناصر غذایی برای گیاه می‌شود (Hamidi et al., 2005). نتایج یافته‌های سجادی نیک و همکاران (Sajjadi Nik et al., 2013) نشان داد که کاربرد نیتروکسین با تأمین نیتروژن و تحریک رشد گیاه موجب بهبود رشد و شاخص سطح برگ کنجد (*Sesamum indicum* L.) شد. هم‌چنین نتایج مطالعات نشان داد که تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفر و *آزوسپیریلیوم* سبب افزایش سطح برگ گردید (Aseri, 2008). نتایج پژوهش‌های بسیاری بر تأثیر مثبت مصرف ترکیبی کودهای زیستی بر بهبود شاخص‌های رشد تأکید می‌کند (Khoramdel et al., 2010; Paul & Savithru, 2003).



شکل ۱- اثر کودهای زیستی بر شاخص سطح برگ (LAI) ماش دزفولی (A) و هندی (B) در طول دوره رشد

Fig. 1- Effect of bio-fertilizer on leaf area index of Dezfouli (A) and Indian (B) mung bean during growth season

Control: شاهد، NF: کود نیتروژنه با منشأ اوره ۴۶، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

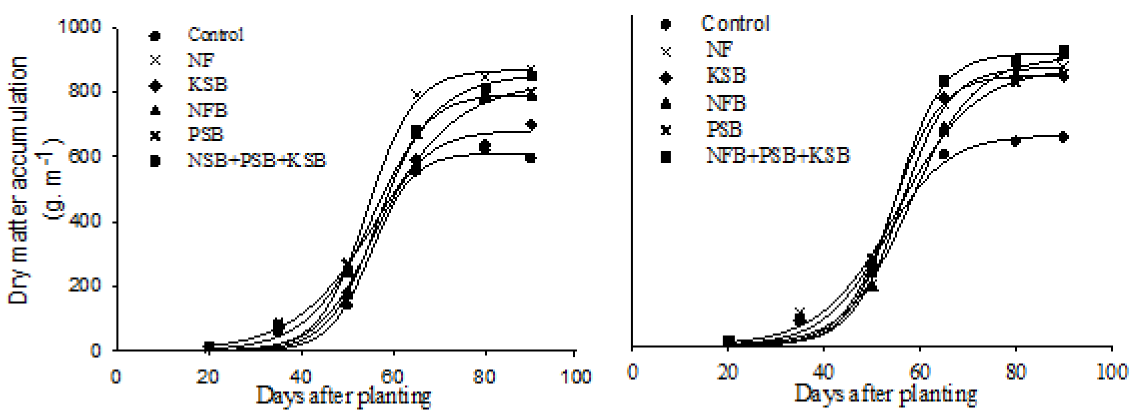
NF: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, KSB: Potassium solubilizing bacteria, NFB: Free-living nitrogen-fixing, PSB: Phosphate solubilizing bacteria

تجمع ماده خشک: تغییرات ماده خشک در ابتدای رشد روند افزایشی داشت و این روند تا ۷۰ الی ۸۰ روز پس از کاشت ادامه یافت و پس از این، روند ثابت به خود گرفت (شکل ۲). روند تجمع ماده خشک در سطوح مختلف کود زیستی نشان داد که کاربرد هم‌زمان

کودهـای زیسـتی (بـاکتری‌هـای آزادزی تثبیـت‌کننـده نیتـروژن، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و فسفر به‌طور هم‌زمان) در توده دزفولی و هندی نسبت به شاهد ۳۰ و ۲۹ درصد بیش‌تر بود و نتایج بهتری را نسبت به سایر تیمارهـا نشـان داد (شـکل ۲). تجمـع مـاده خشـک، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است. ماده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به مصرف رشد گیاه رسیده و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمـع یابـد و تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. افزایش سطح برگ می‌توانـد موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه افزایش مـاده خشـک شود که در نهایت، منجر به افزایش عملکرد گیاه شـود (Keshavarz Afshar et al., 2011).

مطالعات نشان داد که بالا بودن شاخص سطح برگ گندم ناشـی از زمان مصرف کود نیتروژنه در تلقیح بذر با *ازتوباکتر* است که منجـر به دریافت تشعشع و تولید مواد فتوسـنتزی و در نهایـت، تولیـد مـاده خشک بیش‌تر در گیاه می‌شود، که باکتری‌های محرک رشد با تـأمین منابع نیتروژن سبب افزایش وزن و حجـم ریشـه و کمـک بـه جـذب بهینه آب و امـلاح و در نهایـت، سـبب بهبـود رشـد گیـاه مـی‌شـوند (Seyedsharifi et al., 2014). *آزوسـپریلوم و ازتوبـاکتر* عـلاوه بـر توان تثبیت نیتروژن، با تولید مواد محرک رشد ریشه و افزایش سرعت جذب آب و عناصر غذایی باعث افزایش عملکرد در گیاهان مـی‌شـود (Tilak et al., 2005).

بررسی‌ها نشان داد که ماده خشک گیـاهی در شـرایط تلقـیح بـا *ازتوبـاکتر* بـیش‌تـر از شـرایط عـدم تلقـیح بـوده اسـت. اسـتفاده از باکتری‌های محرک رشد به همراه کشت یا بذرمال کردن بذور، نتـایج سودمند و قابل‌توجهی را در جهت بهبود رشد و افزایش عملکرد مـاده خشک و شاخص برداشت، جوانه‌زنی بذرها و محتوای نیتـروژن آن‌هـا پس از برداشت، فعالیت آنزیم نیتروژناز در گره‌هـای ریشـه حبوبـات و هـم‌چنـین تحمـل تـنش‌هـای محیطـی و بیمـاری‌هـا را در پـی دارد (Bagheri et al., 2011). باکتری‌های محرک رشـد سـبب انحـلال عناصر ضروری در خـاک، ایجـاد مقاومـت گیـاه میزبـان بـه عوامـل بیماری‌زا، جذب مواد غذایی بهتر و در نتیجه افزایش رشـد و عملکـرد گیاه را موجب می‌شوند (Shen et al., 2016). محققان اظهار کردنـد که تلقیح بذور ماش با باکتری‌های آزادکننده پتاس سبب افـزایش ۱۳ برابری تعداد گره نسبت به رقم شـاهد گردیـد، هـم‌چنـین وزن تـر و خشک گیاه نیز به‌طـور معنـی‌داری نسـبت بـه شـاهد افـزایش یافـت (Bashir et al., 2016). به‌طورکلی، کاربرد باکتری‌هـای حـل‌کننـده پتاسیم و فسفر نقش مهمی در مقابله با کاهش مـواد مغـذی خـاک و افزایش عملکرد محصول دارند (Abou et al., 2012).



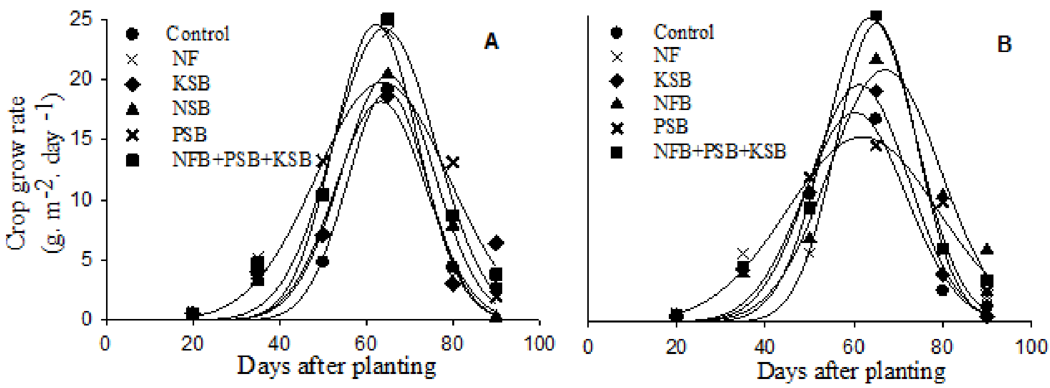
شکل ۲- اثر کودهای زیستی بر ماده خشک تجمعی (TDM) ماش دزفولی (A) و هندی (B) در طول دوره رشد

Fig. 2- Effect of bio-fertilizer on total dry matter accumulation of Dezfouli (A) and Indian (B) mung bean during growth season

Control: شاهد، NF: کود نیتروژنه با منشأ اوره ۴۶ , KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

NF: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, KSB: *Potassium solubilizing* bacteria, NFB: Free-living nitrogen-fixing, PSB: *Phosphate solubilizing* bacteria

سرعت رشد محصول: در این مطالعه سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد به‌دلیل کم بودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب نور، روند کندی داشت. بعد از گذشت ۳۵ روز پس از کاشت با افزایش سطح برگ، افزایش رشد ریشه‌ها و استفاده بهتر از نور خورشید و در نتیجه افزایش فتوسنتز میزان تولید ماده خشک در واحد سطح افزایش یافته و در نهایت، سرعت رشد محصول روند افزایشی داشته است (شکل ۳). در اواسط دوره رشد (۶۵ روز پس از کاشت) سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود رسید. با رسیدن گیاه به حد نهایی رشد در اثر سایه‌اندازی اندام‌های فوقانی روی برگ‌ها، کاهش قدرت فتوسنتزی گیاه، پیری و ریزش برگ‌ها، سرعت رشد محصول کاهش یافت (Van Iersel, 2000). با توجه به شکل ۳ بیش‌ترین سرعت رشد گیاه در توده دزفولی و توده هندی از تیمار کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی (باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و فسفر به‌طور هم‌زمان) به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۳۱ و ۴۶ درصد بیش‌تر بود. به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با تأثیر بر مقاومت روزنه‌ای، گسترش سطح ریشه، فراهمی آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد سرعت رشد گیاه و جذب مواد غذایی توسط گیاه دانستند و روابط آبی باعث بهبود سرعت رشد گیاه نسبت به شاهد شده است (Bashan, 2005). محققان افزایش سرعت فتوسنتز گیاهان در اثر تلقیح با باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن را مشاهده کردند، دلیل این امر می‌تواند ناشی از تولید هورمون‌های محرک رشد و افزایش فراهمی عناصر غذایی توسط این میکروارگانیسم‌ها که باعث افزایش سرعت فتوسنتز گیاهان تلقیح شده نسبت به شاهد باشد (Antounes et al., 2005). محققان گزارش کردند که سرعت رشد محصول در کلزا (*Brassica napu* L.) تحت تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشد نسبت به عدم تلقیح ۱۰ تا ۱۲ درصد افزایش نشان داد. افزایش سرعت رشد محصول توسط کودهای زیستی در گیاهان همانند جو (*Hordeum vulgare* L.) و ذرت طی بررسی‌های مختلف گزارش‌شده است (Yasari et al., 2007; Nasrolahzadeh et al., 2016). بر اساس گزارش‌های موجود، مصرف نیتروژن از طریق افزایش سرعت ماده‌سازی می‌تواند موجب بهبود سرعت رشد محصول شود (Sadeghi et al., 2015).



شکل ۳- اثر کودهای زیستی بر سرعت رشد محصول (CGR) ماش دزفولی (A) و هندی (B) در طول دوره رشد

Fig. 3- Effect of bio-fertilizer on crop growth rate of Dezfouli (A) and Indian (B) mung bean during growth season

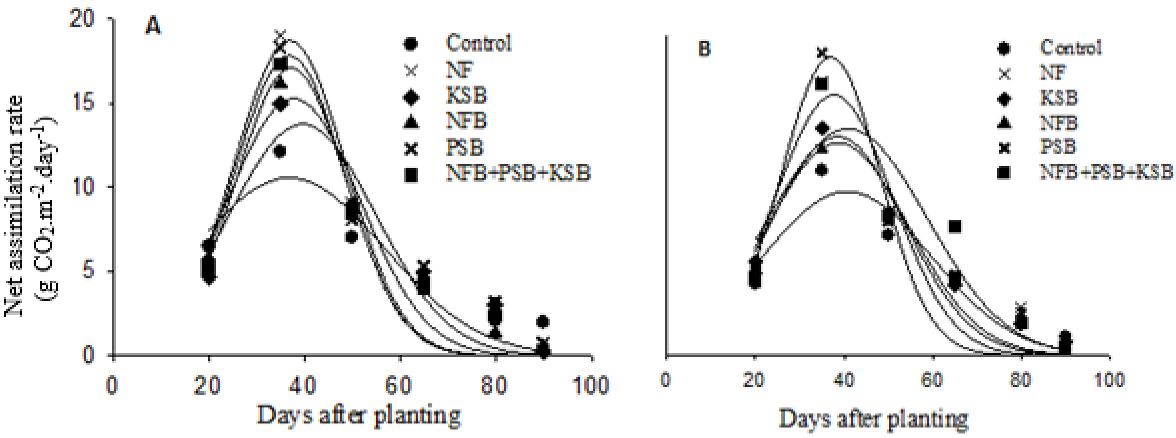
Control: شاهد، NF: کود نیتروژنه با منشأ اوره ۴۶ درصد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

NF: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, KSB: *Potassium solubilizing* bacteria, NFB: Free-living nitrogen-fixing, PSB: *Phosphate solubilizing* bacteria

سرعت آسیمیلاسیون خالص: چنانچه در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در اوایل رشد گیاه، سرعت جذب خالص به‌دلیل این‌که تمام سطح برگ در معرض نور خورشید بوده و فعالانه فتوسنتز می‌کنند، در حداکثر مقدار خود بوده و به‌تدریج با گذشت زمان، روند کاهشی نشان

می‌دهد که این روند تغییرات در کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی (باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و فسفر به‌طور هم‌زمان) در ماش هندی در ۲۰ روز پس از کاشت این میزان برابر شش گرم بر مترمربع در روز آغاز شده و در ۳۵ روز پس از کاشت معادل ۱۸/۲۹ رسیده و این در حالی است که برای عدم استفاده از کود زیستی در ۲۰ روز پس از کاشت از پنج گرم بر مترمربع در روز آغاز و در ۳۵ روز پس از کاشت ۱۲ گرم بر مترمربع در روز رسیده است. هم‌چنین این مقدار در زمان کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی در ماش دزفولی در ۲۰ روز پس از کاشت این میزان برابر پنج گرم بر مترمربع در روز آغاز شده و در ۳۵ روز پس از کاشت معادل ۱۸/۹۵ رسیده و این در حالی است که برای عدم استفاده از کود زیستی در ۲۰ روز پس از کاشت از پنج گرم بر مترمربع در روز آغاز و در ۳۵ روز پس از کاشت به ۸/۷۶ گرم بر مترمربع در روز رسید. در این ارتباط چات‌ها و همکاران (Chattha et al., 2017) به نتایج مشابهی دست یافتند.

استفاده از تیمارهای کودهای زیستی مختلف سبب شده است تا سرعت آسیمیلاسیون خالص در این تیمارها نسبت به شاهد افزایش یابد که این امر می‌تواند سبب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و افزایش ماده خشک شود. دلیل کاهش سرعت جذب خالص با گذشت زمان سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم و هم‌چنین پیر شدن برگ‌ها و در نتیجه کاهش کارایی فتوسنتز گیاه است (Leithy et al., 2006).



شکل ٤- اثر کودهای زیستی بر سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) ماش دزفولی (A) و هندی (B) در طول دوره رشد

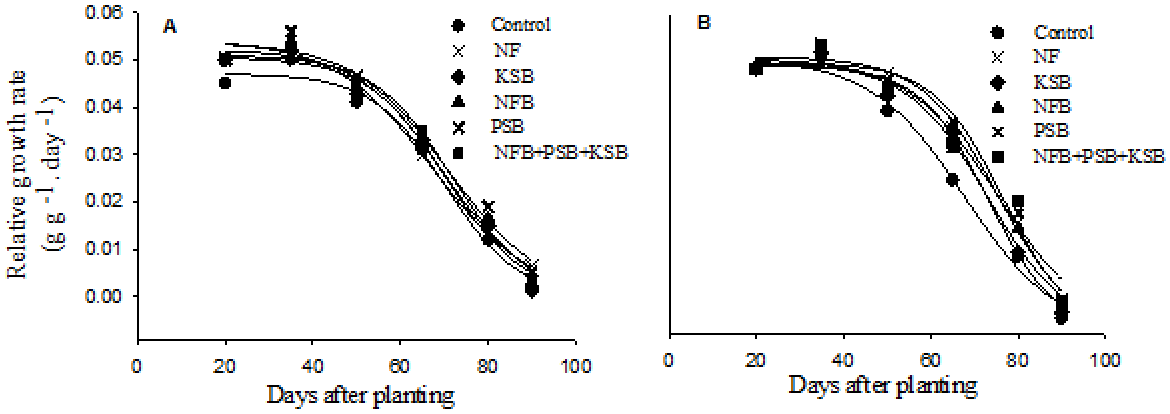
Fig. 4- Effect of bio-fertilizer on net assimilation rate of Dezfouli (A) and Indian (B) mung bean during growth season

Control: شاهد،NF: کود نیتروژنه با منشأ اوره ۴۶ درصد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

KSB: *Potassium solubilizing* bacteria, NF**:** Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, NFB: Free-living nitrogen-fixing, PSB: *Phosphate solubilizing* bacteria

سرعت رشد نسبی: بعد از استقرار گیاه، میزان سرعت رشد نسبی مرتباً با گذشت زمان کاهش می‌یابد و روند تغییرات آن نزولی می‌شود (شکل ۵). حدود ۳۵ روز پس از کاشت میزان سرعت رشد نسبی گیاه به حداکثر مقدار خود می‌رسد که این میزان در زمان کاربرد تمامی کودهای زیستی (باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و فسفر به‌طور هم‌زمان) در هر دو توده دزفولی و هندی نسبت به شاهد ۳۲ و ۳۰ درصد بیش‌تر بود. به نظر می‌رسد بالاتر بودن سرعت رشد محصول در تیمار کودهای زیستی به‌علت بالاتر بودن شاخص سطح برگ و متعاقب آن بالاتر بودن میزان تجمع ماده خشک در مقایسه با شاهد بود.

عملکرد دانه: بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به کاربرد هم‌زمان باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفر و پتاسیم در ماش هندی و کم‌ترین عملکرد دانه مربوط به شاهد توده ماش هندی بود که نسبت به کاربرد هم‌زمان تمامی کودهای زیستی (باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و فسفر به‌طور هم‌زمان) ۲۰ درصد عملکرد کم‌تری داشت (شکل ۶).

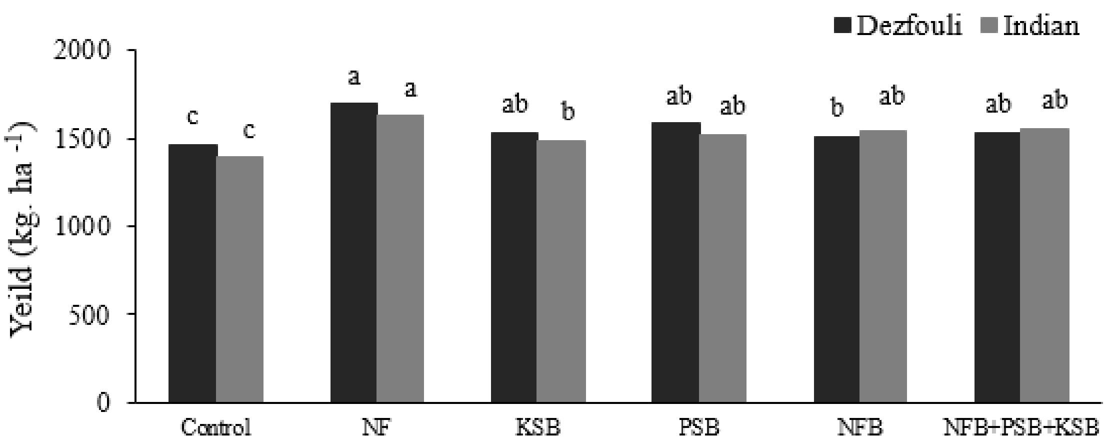


شکل ۵- اثر کودهای زیستی بر سرعت رشد نسبی (NAR) ماش دزفولی (A) و هندی (B) در طول دوره رشد

Fig. 5- Effect of bio-fertilizer on relative growth rate of Dezfouli (A) and Indian (B) mung during growth season

Control: شاهد، NF : کود نیتروژنه با منشأ اوره ۴۶ درصد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

NF: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%, KSB: *Potassium solubilizing bacteria*, NFB: Free-living *nitrogen-*fixing, PSB: *Phosphate solubilizing bacteria*



شکل ٦- مقایسه میانگین عملکرد دو توده ماش تحت تأثیر تلقیح با کودهای زیستی

Fig. 6- Mean comparisons for yield of two mung landraces affected by bio-fertilizers

Control: شاهد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر، NF: کود نیتروژنه با منشأ اوره ۴۶ درصد

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح 5% دارای تفاوت معنی‌داری نمی باشند.

KSB: *Potassium solubilizing* bacteria, NFB: Free-living nitrogen-fixing, PSB: *Phosphate solubilizing* bacteria, NF: Nitrogen fertilizer with a source of urea 46%

Means with at least one similar letter, are not significant different ($P<= 0.05$) based on Dunkan test.

افزایش قابل توجه رشد گیاهان و عملکرد در بقولات توسط باکتری‌های افزاینده رشد مانند حل‌کننده‌های فسفر و تثبیت‌کننده نیتروژن مولکولی را تأیید می‌کند، در این بررسی به نظر می‌رسد که *ازتوباکتر* از طریق مکانیسم‌های ذکر شده موجب افزایش برخی از عناصر و توسعه سطوح فتوسنتزکننده شده و گیاه مواد پرورده تولید شده را به اندام‌های زایشی اختصاص داده و در نهایت، عملکرد افزایش پیدا کرده است (Parmar et al., 2013). استفاده از کودهای زیستی منجر به افزایش سطح برگ گیاه و در نتیجه سبب افزایش

تولید ماده خشک ماش می‌شود که در نهایت، منجر به افزایش عملکرد می‌شود. تلقیح بذور با باکتری‌های آزادکننده پتاسیم سبب افزایش گره‌زایی ریشه‌ها در مرحله گل‌دهی، شاخص سطح برگ، مقدار کلروفیل و عملکرد دانه می‌شود. نتیجه مطالعات نشان داده که کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن اثرات سودمندی بر توسعه و رشد ریشه داشته و هم‌چنین سبب بهبود کیفیت و افزایش محصول شد (Choudhary et al., 2017). هم‌چنین مقایسه این نتایج با یافته‌های پراساد و همکاران (Prasad et al., 2017) روی ماش نشان داد این افزایش محصول می‌تواند به‌علت افزایش تعداد گره‌ها در ریشه باشد که باعث تهیه نیتروژن کافی و در نهایت، سبب افزایش عملکرد شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی (باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم و فسفر به‌طور هم‌زمان)، بالاترین شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و عملکرد دانه در توده ماش هندی و بالاترین سرعت رشد محصول، سرعت آسیمیلاسیون خالص و سرعت رشد نسبی در توده ماش دزفولی به‌دست آمد؛ بر این اساس، می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی در بهبود شرایط رشدی نتایج بهتری را نشان داد؛ بنابراین، استفاده از کودهای زیستی جهت حاصلخیزی خاک و بهبود رشد ماش در جهت افزایش تولید یکی از راه‌حل‌های اساسی در راستای تأمین امنیت غذایی و پایداری در تولید مطلوب است. کاربرد این کودها با بهبود توانمندی گیاه برای رشد بهتر و تولید بیش‌تر ماده خشک سبب دستیابی به عملکرد بالاتر محصول شد.

References

Abbas, G., Abbas, Z. Aslam, M., Ullah Malik, T., Ishaque, M., and Hussain, F., 2011. Effects of organic and inorganic fertilizers on mungbean (*Vigna radiata* L.). International Journal of Plant Science 2(4): 094-098.

Abou, S., and Abdel, A., 2012. Impact of rock materials and biofertilizations on P and K availability for maize (*Zea mays*) under calcareous soil conditions. Journal of Biological Sciences 19(1): 55-63.

Aboutalebian, M.A., and Elahi, M., 2016. Evaluation of changes in some physiological indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected by on-farm seed priming and bio-fertilizers at different phosphorus levels. Journal of Crop Production and Processing Isfahan University of Technology 6(20): 25-39. (In Persian with English Summery)

Abrosh, A., 2000. Effect of sowing date on yield and yield components of mung bean cultivars under Dezful climate conditions. Journal of Physiology of Crops 2(8): 13-28.

Antunes, P.M., Deaville, D.,. and Goss, M.J., 2005. Effect of two AMF life strategies on the tripartite symbiosis with *Bradyrhizobium japonicum* and soybean. Journal of Mycorrhiza 16(3): 167-173.

Aseri, G.K., Jain, N., Panwar, J., Rao, A.V., and Meghwal, P.R., 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. Scientia Horticulturae 117(2): 130-135.

Bagheri, F., Rouhani, H., Falahati Rastegar, M., and Saberi, R., 2011. Investigating the fuzzy diversity phenomenon in fluorescent pseudomonads and its role in control of the fungi of patient *Gaeumannomyces graminis* var. tritici is a causal agent of wheat germ. Journal of Iranian Plant Protection Sciences 42(2): 199-208. (In Persian with English Summery)

Bashan, Y., 2005. Fresh-weight measurements of roots provide inaccurate estimates of the effects of plant growth promoting bacteria on root growth: a critical examination. Journal of Soil Biology and Biochemistry 3(7): 1795-1804.

Bashir, K,. Kausar, K,. Shahzad, S.M,. Ashraf, M., Siddiqui, A.R,. Muhammad, A., and Piracha, A., 2016. Bio-associative effect of rhizobacteria on nodulation and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) under saline conditions. Journal of Applied Agriculture and Biotechnology 1(2): 23−37.

Chattha, M.U., Hassan, U.H., Khan, E., Chattha, M.B., Ashraf, I., Ishque. W., Farooq, M., Usman, M., and Kharal, M., 2017. Effect of different nitrogen and phosphorus fertilizer levels in combination with nitrogen and phosphorus solubilizing inoculants on the growth and yield of mung bean. Journal of Life Science 15(1): 31-36.

Choudhary, P., Singh, G., Reddy, G.L., and Jat, B.L., 2017. Effect of Bio-fertilizer on different varieties of black gram (*Vigna radiata* L.). Journal of Current Microbiology Application Science 6(2): 302-316.

De sousza, E.M., Bassani, V.L., Sperotto, R.A., and Granada, G.E., 2016. Inoculation of new *rhizobial* isilates improve nutrient uptake and growth of bean (*Phaseolus vulgarid* and arugula (*Eruca sativa*). Journal of Life Science Food 96(10): 258-273.

Hamidi, A., Ghalavand, A., Dehghan Sharam, M., Malekoti, M., Asgharzadeh, A., and Chukan, R., 2005. Effects of plant growth stimulating bacteria (PGPR) on the yield of corn. Journal of Research and Construction 19(1): 16-22. (In Persian with English Summary)

Iqbal, S., Khan, M.Y., Asghar, H.N., and Akhtar, M.J., 2016. Combined use of phosphate solubilizing bacteria and poultry manure to enhance the growth and yield of mung bean in calcareous soil. Journal of Soil Environment 35(2): 146-15.

Hassanabadi, T., Ardakani, M., Rajali, F., and Pak Nejad, F., 2012. Effect of nitrogen fxation and solubilizing phosphate inoculation on yield and nitrogen uptake indices of barley (*Hordeum ulgare* L.) under different levels of nitrogen. Journal of Agriculture and Plant Breeding 8(3): 161-174. (In Persian with English Summery)

Kennedy, I.R., Choudhury, A., and Kecskes, M., 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited?. Journal of Soil Biology and Biochemistry 36(8): 1229-1244.

KeshavarzAfshar, R., Chaei Chi, M., AliPour Juangiri, A., Ansari Jouini, M., Moghaddam, H., Ehteshami, M.R., Khosravi, R., and Khumri, A.S., 2016. The effect of different mycorrhiza species on the effect of elements under different levels of phosphorus fertilizer, The 6th National Congress of Legumes of Iran, Khorramabad, Lorestan, Iran. (In Persian)

Kamaei, R., Jahan, M., and Parsa, M., 2015. Effects of biological, chemical and organic fertilizers on some physiological indices of Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) under greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center 7(2): 87-96. (In Persian with English Summery)

Leithy, S., El-meseiry, T.A., and Abdallah, E.F., 2006. Effect of biofertilizers, cell stabilizer and irrigation regime on Rosemary herbage oil yield and quality. Journal of Applied Research 2(10): 773-779.

MajnounHosseini, N., and Mazaheri, M., 2007. Effect of covering effects, soil mechanization systems and nitrogen fertilizer on soil properties and forage sorghum performance. 10nd Iranian Soil Science Congress, Karaj, Iran. (In Persian).

Navid, A., Yavarifar, A., Godini, A., and Farniya, A., 2014. Effect of nitrogenous and phosphorous biological fertilizers on morphological traits of mung bean plant. In: Proceedings 2nd International Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran, Iran. (In Persian)

Nasrolahzadeh, N., Shirkhani, A., Zehtab Salmasi, S., and Choukan, R., 2016. Effects of biofertilizer and chemical fertilizer on maize yield and leaf characters in different irrigation conditions. Applied Field Crops Research 29(4): 72-86 (In Persian with English Summery).

Nazeri, P., Kashani, A., Kavazi, K., Aedakani, M., and Mirakhori, M., 2012. Effect of use microbial zinc granulated phosphorous bio fertilizer on growth indices of bean. Journal of Agronomy and Plant Breeding 8(42):1-16. (In Persian with English Summery)

Ngouajio, M., McGiffen, J.M.E., and Hembree, K.J., 2001. Tolerance of tomato cultivar to velvet leaf interference. Journal of Weed Science 49(4): 91-98.

Osouli, N., and Taleshi, K., 2017. Effect of biological fertilizers and vermicompost on some biological properties quality of essential oil of (*Foeniculum vulgare* Mill.) in Khorramabad. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 4(2):123-138. (In Persian with English Summery)

Ozoni Davaji, A., Esfahani, M., Sami Zadeh, H., and Rabiei, M., 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Iran Journal of Crop Scince 9(2): 382-400. (In Persian with English Summery).

Parmar, P., and Sindhu, S., 2013. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. Journal Microbiology Research 3(1): 25-31.

Prajapati, K., 2016. Impact of potassium solubilizing bacteria on growth and yield of mung bean *Vigna radiata*. Journal of Applied Reseach 6(2): 2949-55.

Prasad, S.K., Singh, M.K., and Singh, J., 2014. Response of rhizobium inoculation and phosphorus levels on mung bean (*Vigna radiata* L.) under guava-based agri-horti system. The Bioscan 9(2): 557-560.

Paul, I. K., and Savithru, K., 2003. Effect of biofertilizers vs perfected chemical fertilization for sesame grown in summer rice fallow. Journal of Tropical Agriculture 41(3): 47-49.

Rany, M., and Praksh, V., 2017. Effect of phosphorus, sulphur and PSB on growth attributes and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.). Journal of Agriculture Research 4(3): 198-201.

Sadeghi, S., Sohrabi, Y., and Heidari, G., 2015. Effect of biological fertilizers and fertilizer management on some growth indices of two corn cultivars. Journal of Knowledge of Agriculture and Sustainable Production 25(3): 43-60. (In Persian with English Summery)

Sajjadi Nik, R., and Yadavi, A.R., 2013. Effects of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth, phonological stages and grain yield. Electronic Journal of Crop Production 6(2): 73-99. (in Persian with English Summery)

Sayadat, A., Najafi, A., and Khodarahm, F., 2016. Effect of planting arrangement on yield and yield components of three mung bean cultivars (*Vigna radiata* L.) in northern Khuzestan. Journal of Plant Production Science 6(1): 1-10. (in Persian with English Summery)

SeyedSharifi, R., and Nazarli, H., 2012. Quantitative and qualitative yield and some agricultural characteristics of sunflower (*Helianthus annus* L.) in response to inoculation of seeds with growth promoting bacteria at different levels of nitrogen. Journal of Agricultural Ecology 5(3): 308-317. (In Persian with English Summery)

Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir A., and Khalid, A., 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Journal of Soil Biology and Biochemistry 38(9): 2971-2975.

Shen, H., Xinhua He, X., Liu, Y., Chen, Y., Tang, J., and Guo, T., 2016. Complex inoculant of N_2-fixing, P and Ksolubilizing bacteria from a purple soil improves the growth of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) plantlets. Journal of Frontiers in Microbiology 7(4):841-855.

Soleimani Sardoo, M., Afsharmanesh, G., and Rodbari, Z., 2017. Evaluating the effects of sowing date and plant density on yield and yield components of bean mung in Jiroft County. Journal of Crop Science Research in Arid Regions 1(1): 27-34.

Steinmaus, S.J., and Norris, R.F., 2002. Growth analysis and canopy architecture of velvetleaf grown under light conditions representative of irrigated Mediterranean-type agroecosystems. Journal of Weed Science 50(2): 42- 53.

Tilak, K.V.B.R., Ranganayaki, N., Pal, K.K., De, R., Saxena, A.K., Nautiyal, C.S., Mittal, S., Tripathi, A.K., and Johri, B.N., 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Journal of Current Science 31(4):136-150.

Van Iersel, M.W., 2000.Growth and maintenance respiration of *Catharanthus roseus* L. estimated from CO_2 exchang. Journal of American Society of Hotriculture Science Acta Hotriculture 5(1): 133-140.

Yasari, E., and Patwardhan, A.M., 2007. Effects of *Azotobacter* and *Azospirillum* inoculation and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. Asian Journal of Plant Science 6(1):77-82.

Zaefarian, F., Aghaalikhani, M., Rahimian Mashadi, H., Zand, E., and Rezvani, M., 2009. Yield and growth indices of corn/soybean intercrops under simultaneous competition of redroot pigweed and jimsonweed. Iranian Journal of Weed Scince 5(2): 107-125. (In Persian with English Summery)

Zayed, G., and Motaal, H.A., 2005. Bioactive composts from rice straw enriched with rock phosphate and their effect on the phosphorus nutrition and microbial community in rhizosphere of cowpea. Bioresource Technology 96(8): 929-935.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1423-1436

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۴۳۶-۱۴۲۳

Effect of Free-Living Nitrogen Fixating, Phosphorus and Potassium Solubilizing Bacteria on Growth Indicators on Two Mung Bbean (*Vigna* radiata L.) Landrace

A. Yousefi[1], R. Mirzaeitalarposhti[2], J. Nabati[3*] and S. Soufizadeh[4]
Submitted: 22-12-2018
Accepted: 07-10-2018

Yousefi, A., Mirzaeitalarposhti, R., Nabati, J., and Soufizadeh, S. 2020. Effect of free-living nitrogen fixating, phosphorus and potassium solubilizing bacteria on growth indicators on two Mung bean (*Vigna radiata* L.) landrace. Journal of Agroecology. 11 (4): 1423-1436.

Introduction
Economic problems as well as environmental concerns related to irregular and excessive application of agricultural chemicals have shifted the attentions toward application of biological fertilizers in many agro-ecosystems. In order to reduce environmental pollution and ecological damage caused by usage of chemical fertilizers, there is a need to use resources and inputs, which not only meet crop nutrient requirements, but also guarantee the long-term sustainability of agricultural systems. Beans are used as human food sources and to improve soil fertility through bio-stabilization of nitrogen. The purpose of this study was to investigate the effect of biofertilizer including (free-living nitrogen-fixating bacteria, and potassium and phosphorus solubilizing bacteria) on growth Indicators of two mung bean landrace.

Materials and Methods
In order to investigate the effect of free-living nitrogen fixating, phosphorus and potassium solubilizing bacteria on growth indices of mung bean (*Vigna radiata* L.), a field experiment was carried out based on a randomized complete block design as factorial arrangement. Two mung bean landrace (Dezfouli and Indian) were planted under six fertilization systems at the Agricultural Research Station of Ferdowsi University of Mashhad, Iran in 2017. Six fertilization treatments include: 1-free-living nitrogen fixating 2- phosphorus solubilizing bacteria 3- potassium solubilizing bacteria 4- free-living nitrogen fixating +phosphorus solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria 5- nitrogen fertilizer 6- Control (without biological and chemical fertilizers) were applied. Before planting, a soil depth of 0-30 cm was obtained from soil samples and the soil physico-chemical properties were measured. Sampling was started 20 days after planting by taking 6 destructive samples. Plant were sampled two weekly intervals to determine the growth parameters of mung bean including leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), and net assimilation rate (NAR).

Results and Discussion
The results showed that the highest leaf area index (3.80) and dry matter accumulation (835 g. m^{-2}) were observed in Indian mung bean, also the highest Crop growth rate (25 $g.m^{-2}.day^{-1}$), net assimilation rate (18.95 g $CO_2.m^{-2}.day^{-1}$) and relative growth rate (0.056 $g.g^{-1}.day^{-1}$) were obtained in Dezfuli Landrace. The lowest growth indices in control treatment were obtained in both Dezfuli and Indian Landrace. Also, the highest yield (1558 kg. ha^{-1}) at application time of bifertilizers was obtained for Indian mung bean under (free-living nitrogen fixating + phosphorus solubilizing bacteria + potassium solubilizing bacteria) treatment. The use of bio-fertilizers through synergistic effects by creating a suitable substrate and favorable for nutrients improves the growth and increase of yield. Also, increasing leaf area can increase the plant's photosynthetic potential and increase dry matter, at finally to increased plant yield. Mung bean plant despite its ability to stabilize nitrogen due to its poor root yield is low. Inoculation with free-living nitrogen fixating, phosphorus solubilizing and potassium solubilizing bacteria, due to increased access to nutrients, which is an effective

---

1, 2, 3 and 4- Ph.D Student of Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Assistant Professor Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Assistant professor, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad and Assistant Professor Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.77747

factor in stimulating the growth and photosynthesis of plants. It improves the growth conditions, develops vegetative growth, extends and prolongs the leaf area, produces photosynthetic materials and as a result increases yield. The application of the mentioned bio fertilizers has increased the number of elements and the development of photosynthetic surfaces and the plant produced the produced material to the reproductive organs and finally growth indices have increased compared to the control treatment.

Conclusion

It was revealed that symbiosis of various biofertilizers not only improve mung bean Growth Indicators but also can reduce negative aspects of chemical fertilizer application in crop production systems. Giving attention to more frequent application of biological fertilizers could be considered as an important agro-ecological approach, which results in healthier soil and water resources.

Keywords: Biological Fertilizers, Crop growth rate, Leaf area index, Net assimilation rate, Sustainable agriculture